

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



УДК 004.921:655

© Д. В. Афанасьєв, аспірант, Я. В. Зоренко, канд. техн. наук,
доцент, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ ПОЛІГРАФІЧНОГО РЕПРОДУКУВАННЯ

У роботі розглядаються поширені методики стиснення даних, які застосовують для зменшення обсягу графічних форматів зображень у системах поліграфічного репродукування.

На основі проведеного дослідження систематизовано основні технології стиснення зображень у системах поліграфічного репродукування, що різняться за основними ознаками: методами стиснення даних, алгоритмами кодування, класами зображення, величиною компресії та якістю зображення після кодування.

Ключові слова: декодування; компресія; кодування; якість зображення; стиснення з втратою інформації; стиснення без втрати інформації; LZW; TIFF; RLE; JPEG.

Постановка проблеми

Технологічний процес поліграфічного репродукування зображень на сучасному етапі розвитку характеризується підвищенням якості візуального сприйняття текстово-ілюстративної інформації. Однак, збільшення якості зображень призводить до збільшення обсягу та надмірності даних, що може ускладнювати процес обробки зображень у системах поліграфічного репродукування.

Для зменшення надмірності даних зображення використовуються різноманітні стандарти кодування інформації, що здатні зменшувати обсяг даних і при цьому зберігати візуальну якість зображення. У системах поліграфічного репродукування на етапі обробки текстово-ілюстративної інформації застосовують типові

методи кодування, що регламентуються стандартами стиснення даних для поліграфічного репродукування [1–7]. До стандарту PDF-X [5–7] входять різноманітні підходи до стиснення зображень. Зокрема алгоритми стиснення даних із втратою інформації (JPEG) та алгоритми без втрати інформації (JPEG2000, TIFF).

Існуючі стандарти стиснення даних для поліграфічного репродукування [1–7] пропонують лише рекомендації, але не визначають конкретні випадки застосовування різноманітних специфікацій, а також не дозволяють чітко визначити вплив застосовуваних алгоритмів стиснення та їх режимів на загальну якість зображення в процесі поліграфічного репродукування. Тож доволі актуальним завданням залишається систе-

ISSN 2077-7264. Технологія і техніка друкарства. 2019. № 1 (63)



матизація та аналіз наявних алгоритмів стиснення зображень у межах сучасної системи поліграфічного репродукування для обґрунтування параметрів, які впливатимуть на зменшення спотворень під час кодування і декодування зображень поліграфічної репродукції.

Аналіз попередніх досліджень

Застосування методів стиснення даних є доволі поширеним для технологічних процесів обробки цифрових зображень. Зокрема основними напрямками застосування методів стиснення є друкарські процеси поліграфічного виробництва, цифрова фотографія, обробка відеоінформації, різноманітні мультимедійні технології, телекомунікаційні технології (цифрове телебачення, мережа Інтернет, відеоспостереження) та ін. Тож, в кожному із напрямків дослідниками наводяться певні узагальнення, систематизуються поширені методи стиснення даних [8–22].

Основним призначенням методів стиснення даних є зниження інформативності цифрового зображення, що досягається усуненням кодової (статистичної) та візуальної (суб'єктивної) надлишковості даних. Причому для оптимізації процесу стиснення даних необхідно забезпечити передачу найменшого обсягу інформації із допустимим рівнем втрати якості цифрового зображення. Тому, в більшості наукових робіт [8–22] доволі поширеним є розділ технологій стиснення зображень за методами стиснення даних: без втрат (lossless) та з втратами (lossy), що різняться за алгоритмами кодування.

Також методи стиснення даних систематизують за їхніми характеристиками: величиною компресії (коефіцієнтом стиснення), якістю зображення після кодування, симетричністю стиснення (відношенням часу кодування і декодування) та ін. [8].

Розгляд та систематизація методів стиснення даних супроводжується оглядом класів зображень, для яких можна застосовувати ту чи іншу технологію стиснення даних. Зокрема, в наукових роботах [8–10, 17, 21] виділяються три основні класи зображень: бінарні (1-бітові), чорнобілі зображення із градаціями сірого (8-бітові) та повноколірні зображення (24-бітові). Також інколи наводяться різновиди основних класів зображень: із домінуванням одного колірного тону (наприклад, інфографіка), із плавними переходами тонів (зображення створені в програмах комп'ютерної графіки) та фотореалістичні зображення (цифрові фотографії та скановані ілюстрації) тощо.

Мета роботи

Дослідження поширених технологій стиснення зображень та визначення особливостей їх застосування в системах поліграфічного репродукування для різних за характеристиками цифрових зображень, а також систематизація основних алгоритмів стиснення цифрових зображень.

Результати проведених досліджень

Згідно з проаналізованими науковими роботами [8–22], присвяченими сучасним технологіям стиснення зображень, було ви-



значено основні їхні класифікаційні ознаки: методи стиснення даних, алгоритми кодування, класи зображень, величина компресії даних та якість зображення після декодування (рис. 1).

Загалом принцип реалізації наведених технологій стиснення зображень (рис. 1) може бути охарактеризований спрощеною схемою (рис. 2), за якою процес стиснення складається з двох етапів: стиснення та відновлення даних [10]. Причому до етапу стиснення можна віднести операції перетворення та кодування даних, а до процесу відновлення можна віднести операції декодування та оберненого перетворення даних, а також реконструкція зображення.

На етапі стиснення даних виконується перетворення інформації з однієї форми (масиву пікселів зображення) подання в ін-

шу (матриця компонент спектру, набір коефіцієнтів перетворення, або опис об'єктів перетворення), що залежить від обраного алгоритму кодування [23]. Також після перетворення на етапі стиснення даних отримані компоненти проходять операцію квантування та кодування. На цьому етапі здійснюється усунення надлишковості даних [24].

За точністю проведеного етапу відновлення даних зображення вирізняють методи стиснення даних без втрат (lossless) та з втратами (lossy). До основних методів стиснення зображень без втрати даних відносять алгоритми кодування RLE, JBIG, CCITT Group, LZW, Huffman та Lossless JPEG. До основних методів стиснення зображень із втратою даних відносять алгоритми кодування Wavelet (рекурсивний), фрактальний та Lossy JPEG [15–24].

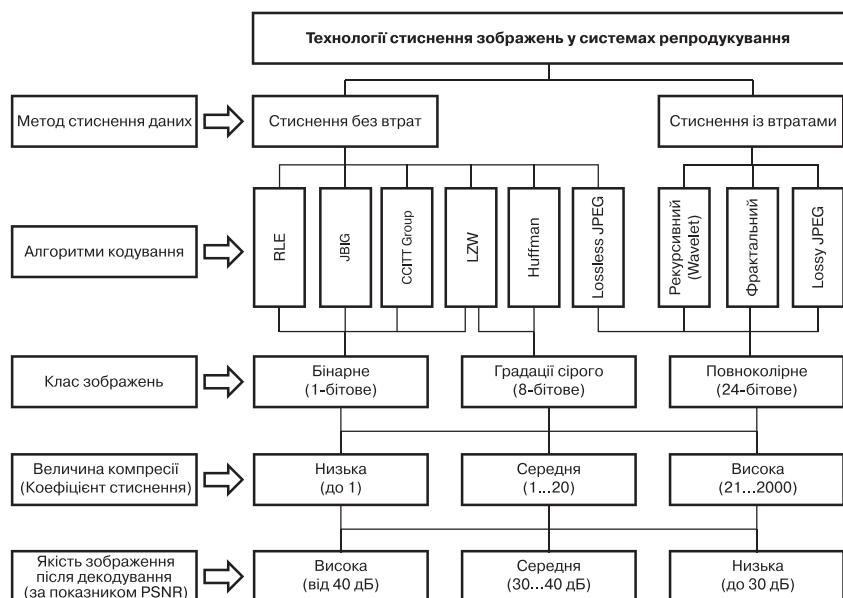


Рис. 1. Систематизація технологій стиснення зображень у системах поліграфічного репродукування



Загалом типове цифрове зображення з градаціями сірого можна представити як функцію $f(x, y)$, яка визначається в прямокутній області $x[0; W]$ та $y[0; H]$, де позначення: M — ширина зображення, H — висота зображення, а f — функція розподілу яскравості зображення. Відповідно стиснене зображення можна представити як функцію $g(x, y)$ [25–27].

Операції перетворення інформації можуть бути реалізованими, наприклад, за методами ДКП (дискретно косинусне перетворення) та ДРП (дискретне рекурсивне перетворення).

Двовірне дискретне косинусне перетворення для зображення із градаціями сірого у вигляді матриці $A(m, n)$ з розміром $M \times N$ здійснюється згідно виразу [20]:

$$t(u, v) = c(u) c(v) \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} A(m, n) \cdot \cos \frac{(2m+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2n+1)v\pi}{2N},$$

$$0 \leq u \leq M-1, \quad 0 \leq v \leq N-1, \quad (1)$$

$$c(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{якщо } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & \text{якщо } 1 \leq u \leq M-1 \end{cases},$$

$$c(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{якщо } v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{якщо } 1 \leq v \leq N-1 \end{cases}.$$

Значення $t(u, v)$ називають коефіцієнтами дискретного косинусного перетворення матриці $A(m, n)$. Також під час відновлення (після декодування) зображення застосовують зворотнє ДКП. Використання ДКП під час стиснення зображень полягає у перетворенні невеликих блоків 8×8 пікселів [20].

Метод дискретного рекурсивного перетворення, або wavelet-перетворення (ДРП) передбачає визначення базисних функцій, які формують компактний опис зображення за масштабом (s) та зміщенням (τ). Застосування ДРП дозволяє розділити великі зображення в низькочастотній області спектра і дрібні деталі зображень у високочастотній області спектра [9].

Безперервне $\psi(x)$ та зворотнє $W(s, \tau)$ рекурсивне перетворення одновимірного сигналу визначається наступним чином [9]:

$$\psi_{s, \tau}(x) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{x - \tau}{s}\right), \quad (2)$$

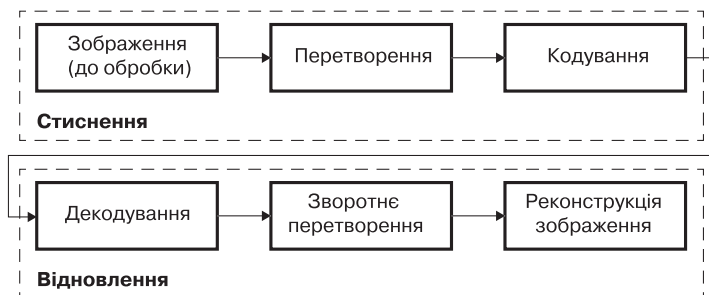


Рис. 2. Узагальнена схема процесу стиснення цифрового зображення



$$W_{\varphi}(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{s, \tau}(x) dx. \quad (3)$$

На етапі кодування даних зображення у системах поліграфічного репродукування застосовуються алгоритми кодування RLE, JBIG, CCITT Group, LZW, Huffman, Wavelet (рекурсивний), фрактальний, Lossless JPEG та Lossy JPEG (рис. 2).

Найбільш відомим і простим алгоритм кодування інформації без втрат є RLE (від. англ.: Run Length Encoding — Кодування серій послідовностей). Суть цього алгоритму полягає у заміні ланцюжків або серій повторюваних байтів чи їх послідовностей на один кодуєчий байт та лічильник числа повторень [17]. Методи кодування на основі алгоритму RLE є досить ефективні для стиснення цифрових зображень особливо для графічного формату TIFF, який містить досить довгі серії повторюваних послідовностей байтів.

Алгоритм JBIG (від. англ.: Joint Bi-level Image Experts Group — Об'єднана група експертів із дво-рівневих зображень), розроблений групою експертів ISO для стиснення бінарних 1-бітових зображень. Характерною особливістю алгоритму стиснення JBIG є різке зниження ефективності стиснення при підвищенні рівня шумів вхідного зображення [18].

Алгоритм стиснення CCITT Group (від. англ.: International Telephone and Telegraph Consultative Committee — Міжнародний консультативний комітет з телеграфії і телефонії) також застосовується для бінарних 1-бітових

зображень та передбачає пошук і виключення із зображення дубльованих послідовностей даних. Алгоритм CCITT Group характеризується високою ефективністю при стисненні бінарних 1-бітових зображень [19].

Алгоритм кодування LZW (від. англ.: Lempel-Ziv-Welch — Лемпел-Зів-Велч) відрізняється високою швидкістю роботи кодування-декодування та низькими вимогами щодо апаратного забезпечення. Існує досить велике сімейство LZW-подібних алгоритмів, що розрізняються, наприклад, методом пошуку повторюваних ланцюжків. Алгоритм LZW є універсальним, тому його варіанти використовуються у звичайних архіваторах даних, а також для графічних форматів GIF та TIFF [17].

В основі алгоритму кодування Huffman (Хаффмана) закладений принцип обліку частоти появи однакових байт у зображенні. При використанні алгоритму, також, необхідний запис у файл та таблиці відповідності кодованих пікселів та кодуєчих ланцюжків. Даний підхід кодування застосовується як останній етап архівації у графічному форматі JPEG. Методи кодування на основі алгоритму Huffman (Хаффмана) дають досить високу швидкість та помірно добру якість стиснення [10].

Алгоритми на основі фрактального стиснення передбачають те, що цифрові зображення можуть мати афінну надмірність у даних. Тобто, існує набір афінних коефіцієнтів, що описують обертання, стиснення, розширення, спотворення форми, зрушення об'єктів зображення. Тому застосування фрактальних алгоритмів кодування



компресії є своєрідним пошуком самоподібних областей та визначення для них параметрів афінних перетворень. Алгоритми на основі фрактального стиснення орієнтовані на повноколірні зображення та зображення у градаціях сірого.

Найбільш поширеними алгоритмами стиснення цифрових зображень є JPEG (від англ.: Joint Photographic Expert Group — Об'єднана група експертів у сфері фотографії). Стандарт стиснення зображень JPEG включає два способи стиснення: перший призначений для стиснення Lossless JPEG (без втрат), дру-

гий — Lossy JPEG (стиснення з втратою якості). Узагальнена схема процесу стиснення за алгоритмами JPEG наведена на рис. 3.

Метод стиснення Lossless JPEG (JPEG2000) заснований на методі диференціального кодування та застосовується у випадках, коли необхідна побітова відповідність вихідного та відновленого зображень. На етапі кодування даних зображення методом стиснення JPEG2000 зазвичай застосовуються алгоритми кодування EZW (Embedded Zerotree Wavelet), SPIHT (Set-Partitioning in Hierarchical Trees)

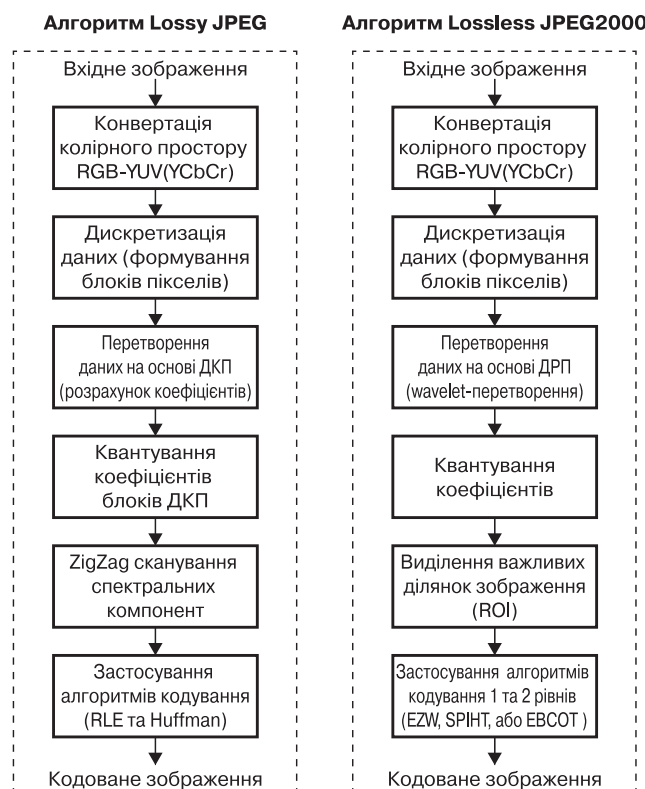


Рис. 3. Узагальнена схема процесу стиснення за алгоритмами Lossy JPEG (з втратами) та Lossless JPEG2000 (без втрат)



та EBCOT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation). Алгоритм Lossy JPEG є найпоширенішим методом стиснення із втра-тою даних для повноколірних зображень, в якому ущільнення даних здійснюється за рахунок застосування додаткових алгоритмів кодування RLE та Huffman [12, 23, 25–30].

Для визначення ефективно-сті та якості стиснення зобра-ження за різними алгоритмами кодування зазвичай застосо-вують наступні критерії [18–26]:

$$K_c = \frac{S_{uc}}{S_c}, \quad (3)$$

де K_c — величина компресії (від англ: Compression Ratio), або кое-фіцієнтом стиснення, S_{uc} — роз-мір у Кбайт для графічного файлу вихідного зображення до прове-дення процесу стиснення даних, S_c — розмір у Кбайт для графіч-ного файлу зображення після застосування процесу стиснен-ня даних.

$$T_{сим} = \frac{t_{ст}}{t_{від}}, \quad (4)$$

$$t_{ст} = t_{оп} + t_{кп}, \quad (5)$$

$$t_{відн} = t_{розп} + t_{зп}, \quad (6)$$

де $T_{сим}$ — симетричність стис-нення (відношенням тривалості кодування до тривалості деко-дування), $t_{ст}$ — час стиснення, $t_{відн}$ — час відновлення, $t_{оп}$ — час роботи основного перетво-рення, $t_{кп}$ — час компресії, $t_{розп}$ — час декомпресії, $t_{зп}$ — час робо-ти зворотного перетворення.

$$K_{PSNR} = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{\sqrt{K_{MSE}}}, \quad (7)$$

$$K_{MSE} = \frac{1}{MN} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i,j) - y(i,j))^2, \quad (8)$$

де K_{PSNR} — критерій співвідно-шення сигнал/шум (PSNR, dB) для визначення зміни якості зображення після кодування, що повинен знаходитися у межах 30...60 dB, K_{MSE} — критерій для позначення середньоквадратич-ного відхилення (від англ: Mean Square Error), що застосовується при визначенні рівня шумів для зо-бражень $x(i, j)$ та $y(i, j)$ із розмі-ром $M \times N$ пікселів.

Отже, на підставі проведеного аналітичного дослідження тех-нологій стиснення зображень було розглянуто особливості їх застосування під час усунення надмірності даних цифрових зо-бражень, а також розроблено систематизацію основних алго-ритмів стиснення цифрових зо-бражень для систем поліграфіч-ного репродукування із основни-ми ознаками: методи стиснення даних, алгоритми кодування, класи зображення, величину компресії та якість зображення після кодування. Слід відзначити, що роз-глянуті методики та алгоритми стиснення зображень покладені в основу стандарту PDF-X та зна-йшли своє застосування у гра-фічних форматах TIFF та JPEG, що застосовуються у системах поліграфічного репродукування.

Висновки

1. На основі аналітичного до-слідження розроблено система-тизацію основних технологій стиснення зображень у системах поліграфічного репродукування, що характеризується такими



основними ознаками: методи стиснення даних, алгоритми кодування, класи зображення, величина компресії (K_c) та якість зображення після кодування (K_{PSNR}).

2. Розглянуто узагальнений процес стиснення цифрового зображення за методами ДКП (дискретного косинусного перетворення) та ДРП (дискретного рекурсивного перетворення), а також проаналізовано основні алгоритми кодування для стиснення цифрових зображень: RLE, JBIG, CCITT Group, LZW, Huffman, Wavelet (рекурсивний), фрактальний та JPEG.

3. Проаналізовано особливості процесу стиснення даних за алгоритмами Lossy JPEG (з втратами) та Lossless JPEG2000 (без втрат), що є поширеними графічними форматами систем поліграфічного репродукування.

4. Розглянуто основні критерії визначення ефективності та якості стиснення зображення за різними алгоритмами кодування, які можливо використовувати для практичного порівняння різних методик стиснення цифрових зображень у системах поліграфічного репродукування.

Список використаної літератури

1. Дубина Н. К вопросу о стандартах в полиграфии / Н. Дубина // Компьюарт. 2016. № 5. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://compuart.ru/article/25267>.
2. ISO 12639: 2004: Graphic technology — Prepress digital data exchange — Tag image file format for image technology (TIFF/IT), (ISO TC130).
3. ISO/IEC 10918-1: 1994: Information technology — Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines.
4. ISO/ IEC 15444-1: 2016: Information technology — JPEG 2000 image coding system: Core coding system.
5. ISO 15929: 2002: Graphic technology — Prepress digital data exchange — Guidelines and principles for the development of PDF/X standards.
6. ISO 15930-1:2001. Graphic technology — Prepress digital data exchange — Use of PDF — part 1: Complete exchange using cmyk data (PDF/X-1 and PDF/X-1a).
7. ISO 15930-4:2003. Graphic technology — Prepress digital data exchange using PDF — part 4: Complete exchange of cmyk and spot colour printing data using PDF 1.4 (PDF/X-1a).
8. Гриньов Д. В. Методи стиснення зображень в системах цифрової обробки даних / Д. В. Гриньов, З. З. Закіров // Системи обробки інформації. 2010. № 2(83). С. 66–70. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/6966>.
9. Крылов Е. В. Исследование вейвлетного метода сжатия изображений для повышения быстродействия веб приложений / Е. В. Крылов, В. К. Аникин, Е. В. Аникина // Адаптивні системи автоматичного управління. 2013. № 23. С. 35–40. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.23.2013.32208>.
10. Смірнов О. А. Аналіз процесів стиснення та відновлення зображень на основі цифрових методів / О. А. Смірнов, О. П. Доренський, О. М. Дреєв // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2013. № 3(12). С. 122–127. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/509>.



11. Kaimal A. B. Image compression techniques: a survey / A. B. Kaimal, S. Manimurugan, C. S. C. Devadass // International journal of engineering inventions. 2013. # 2(4). pp. 26–28. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ijejournal.com/papers/v2i4/D02042628.pdf>.

12. Arora K. A comprehensive review of image compression techniques / K. Arora, M. Shukla // International Journal of Computer Science and Information Technologies. (2014). # 5(2). pp. 1169–1172. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/9d46/aa9d269abfe98043408488c2cddbfaa524e9.pdf>.

13. Calderbank A. R. Wavelet transforms that map integers to integers / A. R. Calderbank, A. R. Daubechies, A. R. Sweldens, B.-L. Yeo // Technical report, Department of Mathematics, Princeton University. 1996. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/a9a3/6e402097c529b3e7a69512c699bbb7e32369.pdf>.

14. Witten I. H. Arithmetic coding for data compression / I. H. Witten, R. M. Neal, J. G. Cleary // Commun. ACM. 1987. Vol. 30. # 6. pp. 520–540. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://web.stanford.edu/class/ee398a/handouts/papers/WittenACM87ArithmCoding.pdf>.

15. Rissanen J. Generalized Kraft inequality and arithmetic coding / J. Rissanen // IBM J. Res. Develop. 1976. Vol. 20. # 3. pp. 198–203. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/9fcb/8d85e3d429f3816861fc7999e1bb68eefd39.pdf>.

16. Burt P. J. The laplacian pyramid as a compact image code / P. J. Burt, E. H. Adelson // IEEE Transactions on Communications. 1983. COM–31(4): 532–540. p. 172. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://persci.mit.edu/pub_pdfs/pyramid83.pdf.

17. Корпань Я. В. Методи та алгоритми компактного представлення графічної інформації в комп'ютерних системах / Я. В. Корпань // Технологічний аудит та резерви виробництва. 2015. № 2(23). С. 32–36. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.43330>.

18. Singh, M. Various Image Compression Techniques: Lossy and Lossless / M. Singh, S. Kumar, S. Singh, M. Shrivastava // International Journal of Computer Applications. 2016. # 142(6). pp. 23–26. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.5120/ijca2016909829>.

19. A. J. Hussain. Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms / A. J. Hussain, Ali Al-Fayadh, Naeem Radi // Neurocomputing. 2018. Vol. 300. 44–69. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094>.

20. Vijay S. A review of image transmission using real time technique over wmsn / S. Vijay, S. K. Dubey // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. # 13(5). pp. 2477–2483. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n5_50.pdf.

21. Ботвін М. М. Аналіз графічних форматів та алгоритмів кодування цифрових зображень / М. М. Ботвін, О. А. Герцій // Транспортні системи і технології. 2018. № 2(32). С. 102–112. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-102-112>.



22. Adelson E. Orthogonal pyramid transforms for image coding / E. Adelson, E. Simoncelli // In Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing II. 1987. Vol. 845. pp. 50–58. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://persci.mit.edu/pub_pdfs/orthogonal87.pdf.

23. Said A. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees / A. Said, W. Pearlman // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 1996. # 6(3):243–250. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/499834>.

24. Ramchandran K. Best wavelet packet bases in a ratedistortion sense / K. Ramchandran, M. Vetterli // IEEE Transactions on Image Processing. 1992. # 2. pp. 160–175. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://infoscience.epfl.ch/record/33899/files/RamchandranV93.pdf>.

25. Shapiro J. M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients / J. M. Shapiro // IEEE Transactions on Signal Processing, 1993. # 41(12): 3445–3462. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/4f6f/e641e9110bddb73ab685922b0ad014540c35.pdf>.

26. Зоренко Я. В. Дослідження технології підготовки зображень із розширеним динамічним діапазоном для веб-сайтів / Я. В. Зоренко, О. В. Коломієць // Технологія і техніка друкарства. 2018. № 1(59). С. 11–19. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(59\).2018.137819](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(59).2018.137819).

27. Тропченко А. Ю. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео / А. Ю. Тропченко, А. А. Тропченко / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. 2009. 108 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/574.pdf>.

28. Hasan T. S. Image compression using discrete wavelet transform and discrete cosine transform / T. S. Hasan // Journal of applied sciences research. 2017. # 13(3). pp. 1–8. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/jasr/jasr/2017/March/1-8.pdf>.

29. Manjari Singh. Various Image Compression Techniques: Lossy and Lossless / Manjari Singh, Sushil Kumar, Siddharth Singh Chouhan, Manish Shrivastava // International Journal of Computer Applications. 2016. # 142(6). 23–26. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.5120/ijca2016909829>.

30. Афанасьев Д. Систематизация методов стиснення цифрових зображень / Д. Афанасьев // Сучасне репродукування: інжиніринг, моделювання, мультимедійні технології. К.: ВПІ. 2018. С. 24–29. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25338/1/S.24-29.pdf>.

References

1. Dubina, N. (2016). K voprosu o standartakh v poligrafii. *Journal of Komp'yuart*, 5. Retrieved from <https://compuart.ru/article/25267> [in Russian].
2. ISO 12639: 2004: *Graphic technology – Prepress digital data exchange – Tag image file format for image technology (TIFF/IT), (ISO TC130)* [in English].
3. ISO/IEC 10918-1: 1994: *Information technology – Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines* [in English].



4. ISO/ IEC 15444-1: 2016: *Information technology — JPEG 2000 image coding system: Core coding system* [in English].
5. ISO 15929: 2002: *Graphic technology — Prepress digital data exchange — Guidelines and principles for the development of PDF/X standards* [in English].
6. ISO 15930-1:2001. *Graphic technology — Prepress digital data exchange — Use of PDF — part 1: Complete exchange using cmyk data (PDF/X-1 and PDF/X-1a)* [in English].
7. ISO 15930-4:2003. *Graphic technology — Prepress digital data exchange using PDF — part 4: Complete exchange of cmyk and spot colour printing data using PDF 1.4 (PDF/X-1a)* [in English].
8. Hrynov, D. V. & Zakirov, Z. Z. (2010). Metody stysnennia zobrazhen v systemakh tsyfrovoy obrobky danykh. *Journal of Systemy obrobky informatsii*, 2(83), 66–70. Retrieved from <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/6966> [in Ukrainian].
9. Krylov, E. V. & Anikin, V. K. & Anikina, E. V. (2013). Issledovanie veyvletno-go metoda szhatiya izobrazheniy dlya povysheniya bystrodeystviya veb prilozheniy. *Journal of Adaptivni systemy avtomatychnoho upravlinnia*, 23, 35–40. Retrieved from <https://doi.org/10.20535/1560-8956.23.2013.32208> [in Russian].
10. Smirnov, O. A. & Dorenskyi, O. P. & Driev, O. M. (2013). Analiz protsesiv stysnennia ta vidnovlennia zobrazhen na osnovi tsyfrovyykh metodiv. *Journal of Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, 3(12), 122–127. Retrieved from <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/509> [in Ukrainian].
11. Kaimal, A. B. & Manimurugan, S. & Devadass, C. S. C. (2013). Image compression techniques: a survey. *International journal of engineering inventions*, 2(4), 26–28. Retrieved from <http://www.ijejournal.com/papers/v2i4/D02042628.pdf> [in English].
12. Arora, K. & Shukla, M. (2014). A comprehensive review of image compression techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologie*, 5(2), 1169–1172. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/9d46/aa9d269abfe98043408488c2cdbffaa524e9.pdf> [in English].
13. Calderbank, A. R. & Daubechies, A. R. & Sweldens, A. R. & Yeo, B.-L. (1996) Wavelet transforms that map integers to integers. *Journal of Technical report, Department of Mathematics, Princeton University*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/a9a3/6e402097c529b3e7a69512c699bbb7e32369.pdf> [in English].
14. Witten, I. H. & Neal, R. M. & Cleary, J. G. (1987). Arithmetic coding for data compression. *Journal of Commun. ACM*, Vol. 30, 6, 520–540. Retrieved from <https://web.stanford.edu/class/ee398a/handouts/papers/WittenACM87ArithmCoding.pdf> [in English].
15. Rissanen, J. (1976). Generalized Kraft inequality and arithmetic coding *Journal of IBM J. Res. Develop.*, Vol. 20, 3, 198–203. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/9fcb/8d85e3d429f3816861fc7999e1bb68eefd39.pdf> [in English].
16. Burt, P. J. & Adelson, E. H. (1983). The laplacian pyramid as a compact image code. *Journal of IEEE Transactions on Communications*, COM–31(4): 532–540, 172. Retrieved from http://persci.mit.edu/pub_pdfs/pyramid83.pdf [in English].



17. Korpan, Ya. V. (2015). Metody ta alhorytmy kompaktnoho predstavlennia hrafichnoi informatsii v komp'uternykh systemakh. *Journal of Tekhnolohichnyi audyt ta rezervy vyrobnytstva*, 2(23), 32–36. Retrieved from <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.43330> [in Ukrainian].
18. Singh, M. & Kumar, S. & Singh, S. & Shrivastava, M. (2016). Various Image Compression Techniques: Lossy and Lossless. *International Journal of Computer Applications*, 142(6), 23–26. Retrieved from <https://doi.org/10.5120/ijca2016909829> [in English].
19. Hussain, A. J. & Al-Fayadh, Ali & Radi, Naeem (2018). Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms. *Journal of Neurocomputing*, Vol. 300, 44–69. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094> [in English].
20. Vijay, S. & Dubey, S. K. (2018). A review of image transmission using real time technique over wmsn. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(5), 2477–2483. Retrieved from https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n5_50.pdf [in English].
21. Botvin, M. M. & Hertsii, O. A. (2018). Analiz hrafichnykh formativ ta alhorytmiv koduvannia tsyfrovyykh zobrazhen. *Journal of Transportni systemy i tekhnolohii*, 2(32), 102–112. Retrieved from <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-102-112> [in Ukrainian].
22. Adelson, E. & Simoncelli, E. (1987). Orthogonal pyramid transforms for image coding. *Journal of In Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing II*, Vol. 845, 50–58. Retrieved from http://persci.mit.edu/pub_pdfs/orthogonal87.pdf [in English].
23. Ramchandran, K. & Vetterli, M. (1992). Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense. *Journal of IEEE Transactions on Image Processing*, 2, 160–175. Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/record/33899/files/RamchandranV93.pdf> [in English].
24. Ramchandran, K. & Vetterli, M. (1992). Best wavelet packet bases in a ratedistortion sense. *Journal of IEEE Transactions on Image Processing*, 2, 160–175. Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/record/33899/files/RamchandranV93.pdf> [in English].
25. Shapiro, J. M. (1993). Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *Journal of IEEE Transactions on Signal Processing*, 41(12):3445–3462. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/4f6f/e641e9110bddd73ab685922b0ad014540c35.pdf> [in English].
26. Zorenko, Ya. V. & Kolomiiets, O. V. (2018). Doslidzhennia tekhnolohii pidhotovky zobrazhen iz rozshyrenym dynamichnym diapazonom dlia veb-saitiv. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 1(59), 11–19. Retrieved from [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(59\).2018.137819](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(59).2018.137819) [in Ukrainian].
27. Tropchenko, A. Yu. & Tropchenko, A. A. (2009). *Metody szhatiya izobrazheniy, audiosignalov i video*. Sankt-Peterburg: SPbGU ITMO, 108 p. Retrieved from <https://books.ifmo.ru/file/pdf/574.pdf> [in Russian].
28. Hasan, T. S. (2017). Image compression using discrete wavelet transform and discrete cosine transform. *Journal of applied sciences research*, 13(3), 1–8. Retrieved from <http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/jasr/jasr/2017/March/1-8.pdf> [in English].



29. Singh, M. & Kumar, S. & Chouhan, S. S. & Shrivastava M. (2016). Various Image Compression Techniques: Lossy and Lossless. *International Journal of Computer Application*, 142(6), 23–26. Retrieved from <https://doi.org/10.5120/ijca2016909829> [in English].

30. Afanasiev, D. (2018). Systematyzatsiia metodiv stysnennia tsyfrovyykh zobrazhen. *Journal of Suchasne reproduktivannia: inzhynirynh, modeliuvannia, multy- ta krosmediini tekhnolohii*. Kyiv: VPI, 24–29. Retrieved from <http://www.ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25338/1/S.24-29.pdf> [in Ukrainian].

В представленной работе рассмотрены популярные методики сжатия данных, которые можно применить для уменьшения объема графических форматов изображений в системах полиграфического репродуцирования. На основе проведенного исследования разработана систематизация основных технологий сжатия изображений в системах полиграфического репродуцирования, различающихся по основным признакам: методам сжатия данных, алгоритмам кодирования, классам изображений, величине компрессии и качества изображения после кодирования.

Ключевые слова: декодирование; кодирование; компрессия; качество изображения; сжатие с потерей информации; сжатие без потерь информации; LZW; TIFF; RLE; JPEG.

This work investigate the popular data compression techniques, which can be used to reduce the size of graphic image formats in printing reproduction systems.

Based on the conducted research the systematization of basic image compression technologies in printing reproduction systems has been developed. The present systematization different in the main features: data compression methods, coding algorithms, image classes, compression value and image quality after coding.

Keywords: decoding; compression; coding; image quality; JPEG; PSNR, loseless; lossy; LZW; TIFF; RLE.

Рецензент — К. О. Чепурна, канд. техн. наук,
доцент, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції 27.02.19